

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Masaaki ADACHI

GAU:

SERIAL NO: NEW APPLICATION

EXAMINER:

FILED: HEREWITH

FOR: PROFILE MEASURING METHOD AND MEASUREMENT APPARATUS USING INTERFERENCE OF LIGHT



REQUEST FOR PRIORITY

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS
WASHINGTON, D.C. 20231

#2 Priority
M. BRUNER
4/11/02

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Provisional Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e).
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

COUNTRY

APPLICATION NUMBER

MONTH/DAY/YEAR

JAPAN

2001-267786

September 4, 2001

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
- ☐ (B) Application Serial No.(s)
- ☐ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.

Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

C. Irvin McClelland
Registration Number 21,124



22850

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

11046 U.S. PRO
10/085082
03/01/02

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 9月 4日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-267786

[ST.10/C]:

[JP2001-267786]

出 願 人

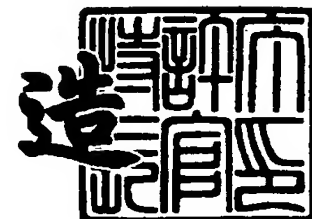
Applicant(s):

金沢大学長

2002年 2月19日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2002-3008617

【書類名】 特許願

【整理番号】 A000102772

【特記事項】 特許法第 3 0 条第 1 項の規定の適用を受けようとする特
許出願

【提出日】 平成13年 9月 4日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G01B 11/00

【発明の名称】 光干渉を用いた形状測定方法および形状測定装置

【請求項の数】 11

【発明者】

 【住所又は居所】 石川県金沢市小立野 2 - 4 0 - 2 0 金沢大学工学部内

 【氏名】 安達 正明

【特許出願人】

 【識別番号】 591006335

 【氏名又は名称】 金沢大学長

【代理人】

 【識別番号】 100058479

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 鈴江 武彦

 【電話番号】 03-3502-3181

【選任した代理人】

 【識別番号】 100084618

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 村松 貞男

【選任した代理人】

 【識別番号】 100068814

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 坪井 淳

【選任した代理人】

【識別番号】 100092196

【弁理士】

【氏名又は名称】 橋本 良郎

【選任した代理人】

【識別番号】 100091351

【弁理士】

【氏名又は名称】 河野 哲

【選任した代理人】

【識別番号】 100088683

【弁理士】

【氏名又は名称】 中村 誠

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9110147

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光干渉を用いた形状測定方法および形状測定装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

位相シフト法を用いて測定対象物からの反射光と参照鏡からの反射光とにより形成される干渉像の位相値を計算し、この位相値から光路差を求め、その光路差から測定対象物の形状を求める形状測定方法において、

測定対象物に、僅かに波長の異なる 2 つのフラッシュ光を、所定時間間隔 t_1 で照射し、その 2 つの光からの反射光と参照鏡からの反射光とにより生成される干渉光をカメラで撮像する際に、2 つのフラッシュ光が繰り返し照射される時間間隔 t_2 毎に、測定対象物を、2 つのフラッシュ光が進行する方向に沿って移動させる位相シフト量を、 $2n\pi$ (n は、1 以上の整数) $\pm \pi/2$ を中心とした $\pm \pi/4$ 以内としたことを特徴とする形状測定方法。

【請求項 2】

2 つのフラッシュ光は、それぞれ、フラッシュランプにより提供される白色光からバンドパスフィルタにより選択した所定の波長の光であることを特徴とする請求項 1 記載の形状測定方法。

【請求項 3】

カメラは、高速ダブル露光機能を持つことを特徴とする請求項 1 記載の形状測定方法。

【請求項 4】

第 1 の波長の光を出射する第 1 のフラッシュ光源と、

この第 1 のフラッシュ光源が出射する第 1 の波長の光と異なる第 2 の波長の光を前記第 1 のフラッシュ光源からの上記第 1 の波長の光に対して t_1 の時間間隔で出射する第 2 のフラッシュ光源と、

測定対象物を、前記第 1 および第 2 のフラッシュ光源からの 2 つのフラッシュ光が進行する方向に沿って移動させる移動テーブルと、

前記第 1 および第 2 のフラッシュ光源からの 2 つのフラッシュ光を、測定対象物に向かう光から参照鏡に向けて分岐し、参照鏡で反射された光を、再び 2 つの

フラッシュ光の光路に戻す半透明鏡と、

測定対象物で反射された2つのフラッシュ光により得られる反射光と参照鏡で反射された反射光により生成される干渉光を画像として撮像するカメラと、

前記移動テーブルを前記第1および第2のフラッシュ光源が発光する発光時間間隔 t_2 に合わせて、所定距離移動させるテーブル制御部と、

前記移動テーブルの所定間隔毎の移動および前記第1および第2のフラッシュ光源からの所定時間間隔 t_2 での発光により得られる前記カメラからの複数の出力画像から、振幅の変化が最大となる画像番号の画像を取りだし、前記カメラへのその画像の取り込み時点での前記第1および第2のフラッシュ光源からの2つの光により生成される2つの干渉像から計算される位相値の差、およびその画像の取り込み時点での位相値に基づいて測定対象物の表面形状を特定する画像処理装置と、

を有することを特徴とする形状測定装置。

【請求項5】

前記第1および第2のフラッシュ光源は、それぞれ、フラッシュランプにより提供される白色光からバンドパスフィルタにより選択した所定の波長の光を出射することを特徴とする請求項4記載の形状測定装置。

【請求項6】

前記カメラは、最長でも1ミリ秒、例えば200ナノ秒～50マイクロ秒、より好ましくは10マイクロ秒の僅かに時間差のある2つの波長による2つの干渉画像を、独立に取り込むことのできる高速ダブル露光機能による撮像の可能なカメラであることを特徴とする請求項4記載の形状測定装置。

【請求項7】

前記移動テーブルは、前記第1および第2のフラッシュ光源の発光時間間隔 t_2 に同期して、 $2n\pi$ (n は、1以上の整数) $\pm \pi/2$ を中心とする $\pm \pi/4$ 以内で定義される位相シフト量を提供可能に、上記2つのフラッシュ光が進行する方向に沿って移動されることを特徴とする請求項4記載の形状測定装置。

【請求項8】

第1の波長の光を出射する第1のフラッシュ光源と、

この第 1 のフラッシュ光源が出射する第 1 の波長の光と異なる第 2 の波長の光を前記第 1 のフラッシュ光源からの上記第 1 の波長の光に対して t_1 の時間間隔で出射する第 2 のフラッシュ光源と、

測定対象物を、前記第 1 および第 2 のフラッシュ光源からの 2 つのフラッシュ光が進行する方向に沿って移動させる移動テーブルと、

前記第 1 および第 2 のフラッシュ光源からの 2 つのフラッシュ光を、測定対象物に向かう光から参照鏡に向けて分岐し、参照鏡で反射された光を、再び 2 つのフラッシュ光の光路に戻す半透明鏡と、

測定対象物で反射された 2 つのフラッシュ光により得られる反射光と参照鏡で反射された反射光により生成される干渉光を画像として撮像するカメラと、

前記移動テーブルを前記第 1 および第 2 のフラッシュ光源が発光する発光時間間隔 t_2 に合わせて、所定距離移動させるテーブル制御部と、

前記移動テーブルの所定間隔毎の移動および前記第 1 および第 2 のフラッシュ光源からの所定時間間隔 t_2 での発光により得られる前記カメラからの前記第 1 および第 2 のフラッシュ光源の所定時間間隔 t_2 での発光毎、かつ前記移動テーブルの移動毎の発光時間間隔 t_2 に対応した複数の出力画像から、振幅の変化が最大となる画像番号の画像を取りだし、参照鏡の共役像と測定対象物表面について前記第 1 および第 2 のフラッシュ光源からの 2 つの光により生成される 2 つの干渉像から光路差を求め、さらに測定対象物の面方向の複数の点で同様に前記カメラからの複数の出力画像を取り出して、それぞれの光路差を求め、測定対象物の面方向の複数の点における前記画像振幅の変化が最大となる各画像の取り込み時点での位相値に基づいて測定対象物の表面形状を特定する画像処理装置と、を有することを特徴とする形状測定装置。

【請求項 9】

前記第 1 および第 2 のフラッシュ光源は、それぞれ、フラッシュランプにより提供される白色光からバンドパスフィルタにより選択した所定の波長の光を出射することを特徴とする請求項 8 記載の形状測定装置。

【請求項 10】

前記カメラは、最長でも 1 ミリ秒、例えば 200 ナノ秒～50 マイクロ秒、よ

り好ましくは10マイクロ秒の僅かに時間差のある2つの波長による2つの干渉画像を、独立に取り込むことのできる高速ダブル露光機能による撮像の可能なカメラであることを特徴とする請求項8記載の形状測定装置。

【請求項11】

前記移動テーブルは、前記第1および第2のフラッシュ光源の発光間隔間隔 t_2 に同期して、 $2n\pi$ (n は、1以上の整数) $\pm \pi/2$ を中心とする $\pm \pi/4$ 以内で定義される位相シフト量を提供可能に、上記2つのフラッシュ光が進行する方向に沿って移動されることを特徴とする請求項8記載の形状測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、超精密機械部品の製造分野やそれらの品質管理ならびに測定分野あるいはコンピュータの磁気記録部品やLSI基板等の中間加工製品、もしくは液晶基板等の表面形状を、光干渉を用いて、数十ナノメートルから数百マイクロメートルの測定範囲で高精度に計測可能な形状測定方法および形状測定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

工業部品の形状、特に表面形状を高い精度で測定する技術は、重要な工業技術であり、現在、複数の測定方式の形状測定装置が実用化されている。今日、特に非接触測定が可能な光干渉を利用した形状測定装置が広く普及している。しかしながら、この種の形状測定装置の多くは、外国製である。

【0003】

光干渉を利用した表面形状の測定方法としては、試料表面に、白色光をバンドパスフィルタに通して照射し、試料表面からの反射光と参照面（鏡）からの反射光との干渉光をカメラで撮像し、その後カメラからの出力画像を画像処理（解析）する方法が一般的である。なお、干渉光を取得する方法（干渉光を得るための光路差の与え方）や出力画像を処理する方式により、例えば位相シフト法や多点同時取り込み等がある。

【 0 0 0 4 】

例えば、ワイコー社（W y c o、米国）からは、凹凸の程度が数ミクロン前後の滑らかな表面については、シフト量を $\pi/2$ とした位相シフト法で干渉位相を求め、それ以上の大きな凹凸の表面については、光路差を変えたときに現れる干渉信号の正弦波型変化の包絡線のピーク位置から表面形状を求める形状測定装置が販売されている。

【 0 0 0 5 】

このワイコー社製の形状測定装置では、なめらかな表面と凹凸の大きな表面の両方を測定可能とするために、 $\pi/2$ または $\pi/3$ 等の π 以下のステップで位相シフトを行って、光干渉画像を2次元カメラで多数回取り込み、その信号から2次元カメラの各画素での位相データを位相シフト法で測定するとともに、同信号から干渉信号の正弦波型変化の包絡線を抽出して、表面形状を計算している。

【 0 0 0 6 】

また、ザイゴー社（Z y g o、米国）からは、通常の位相シフト量で干渉画像を取り込み、FFTを応用して、干渉コントラスト情報と同時に位相情報を抽出する測定装置が販売されている。

【 0 0 0 7 】

このザイゴー社製の形状測定装置および測定方法によれば、個々の画素で包絡線のピーク位置を測定する必要はなく、滑らかな面から比較的粗い面や段差のある面も同じデータ処理方法で測定可能である。また、メモリ必要量を最小化する手法も組み込まれている。

【 0 0 0 8 】

なお、上述した2つの測定装置の他に、光路差を変えたときに現れる干渉信号強度の正弦波形信号変化の包絡線の形状を、帯域通過型標本化定理を用いて、少ないサンプリング点（位相シフト法でいうシフト量に換算して 10π 前後ごとに画像を取り込む）から推測し、ピーク位置を抽出して形状を求める方法が提案されている（計測自動制御学会論文集，Vol. 36，No. 1，16～25p（2000））。

【 0 0 0 9 】

また、測定スピードを高める方法として、共焦点顕微鏡効果とマイクロレンズ

アレイを用いた多数点同時画像取り込みを利用する方法が提案されている（精密光学会誌，Vol. 64, No. 7, 1022～1028p（1998））。

【 0 0 1 0 】

【発明が解決しようとする課題】

光干渉を用いる場合には、光路差が $\lambda \times n'$ （ n' は整数）倍である場合に、干渉光の強度がほぼ同じとなるため、光路差を正しく決定できず、従って、位相値を求める方法のみからは、大きな凹凸で不連続な表面変化を持つ試料の測定ができない問題がある。

【 0 0 1 1 】

上述したワイコー社製の形状測定装置では、 $\pi/2$ または $\pi/3$ 等の π 以下のステップで位相シフトを行って、光干渉画像を2次元カメラで多数回取り込んでいるが、用いるカメラから1画像分のデータをコンピュータへ転送するために、通常1/30秒程度が必要であり、干渉計の光路差を変化させるスピードが、最大で、 $(\lambda/4)/(1/30\text{秒})$ に設定されている。すなわち、位相シフト量がちょうど $\pi/2$ であれば、1波長分の光路差を変化するためには、4回の画像の取り込みが必要となる。このことは、干渉計が反射型でもあり、移動テーブルの移動スピードが概ね $2.0\mu\text{m/秒}$ となり、凹凸の大きな表面の測定には時間を要することを指す。

【 0 0 1 2 】

この測定方式では、画像データの転送速度を高めるため高速のカメラを用いたとしても、画像データ量を減すことができるわけではなく、データ処理に時間がかかり、極端な高速化は困難である。

【 0 0 1 3 】

また、ザイゴ社製の測定装置および測定方法によっても、3次元形状測定法での位相シフト量は、ワイコー社製と同様に、 $\pi/4$ 前後であり、測定スピードを極端に上げることは困難である。

【 0 0 1 4 】

一方、光路差を変えたときに現れる干渉信号強度の正弦波形信号変化の包絡線の形状を、帯域通過型標本化定理を用いて、少ないサンプリング点（位相シフト

法でいうシフト量に換算して 10π 前後ごとに画像を取り込む) から推測してピーク位置を抽出して形状を求める方法では、測定に必要な時間は短縮 (高速化) 可能であるが、位相シフト法に比較して、測定精度が 1 ~ 2 桁程度低い問題がある。

【0015】

また、共焦点顕微鏡効果とマイクロレンズアレイを用いた多数点画像同時取り込みを利用する方法では、共焦点顕微鏡を用いる場合と同じ程度の精度しか得られない問題がある。

【0016】

この発明の目的は、測定対象の表面の凹凸形状を、位相シフト法で確保される程度の高い精度で、高速、かつ非接触で測定可能な形状測定装置および形状測定方法を提供することにある。

【0017】

【課題を解決するための手段】

この発明は、位相シフト法を用いて測定対象物からの反射光と参照鏡からの反射光とにより形成される干渉像の位相値を計算し、この位相値から光路差を求め、その光路差から測定対象物の形状を求める形状測定方法において、測定対象物に、僅かに波長の異なる 2 つのフラッシュ光を、所定時間間隔 t_1 で照射し、その 2 つの光からの反射光と参照鏡からの反射光とにより生成される干渉光をカメラで撮像する際に、2 つのフラッシュ光が繰り返し照射される時間間隔 t_2 毎に、測定対象物を、2 つのフラッシュ光が進行する方向に沿って移動させる位相シフト量を、 $2n\pi$ (n は、1 以上の整数) $\pm \pi/2$ を中心とした $\pm \pi/4$ 以内としたことを特徴とする形状測定方法である。

【0018】

また、この発明は、第 1 の波長の光を出射する第 1 のフラッシュ光源と、この第 1 のフラッシュ光源が出射する第 1 の波長の光と異なる第 2 の波長の光を前記第 1 のフラッシュ光源からの上記第 1 の波長の光に対して t_1 の時間間隔で出射する第 2 のフラッシュ光源と、測定対象物を、前記第 1 および第 2 のフラッシュ光源からの 2 つのフラッシュ光が進行する方向に沿って移動させる移動テーブル

と、前記第 1 および第 2 のフラッシュ光源からの 2 つのフラッシュ光を、測定対象物に向かう光から参照鏡に向けて分岐し、参照鏡で反射された光を、再び 2 つのフラッシュ光の光路に戻す半透明鏡と、測定対象物で反射された 2 つのフラッシュ光により得られる反射光と参照鏡で反射された反射光により生成される干渉光を画像として撮像するカメラと、前記移動テーブルを前記第 1 および第 2 のフラッシュ光源が発光する発光時間間隔 t_2 に合わせて、所定距離移動させるテーブル制御部と、前記移動テーブルの所定間隔毎の移動および前記第 1 および第 2 のフラッシュ光源からの所定時間間隔 t_2 での発光により得られる前記カメラからの複数の出力画像から、振幅の変化が最大となる画像番号の画像を取りだし、前記カメラへのその画像の取り込み時点での前記第 1 および第 2 のフラッシュ光源からの 2 つの光により生成される 2 つの干渉像から計算される位相値の差、およびその画像の取り込み時点での位相値に基づいて測定対象物の表面形状を特定する画像処理装置と、を有することを特徴とする形状測定装置である。

【 0 0 1 9 】

さらに、この発明は、第 1 の波長の光を出射する第 1 のフラッシュ光源と、この第 1 のフラッシュ光源が出射する第 1 の波長の光と異なる第 2 の波長の光を前記第 1 のフラッシュ光源からの上記第 1 の波長の光に対して t_1 の時間間隔で出射する第 2 のフラッシュ光源と、測定対象物を、前記第 1 および第 2 のフラッシュ光源からの 2 つのフラッシュ光が進行する方向に沿って移動させる移動テーブルと、前記第 1 および第 2 のフラッシュ光源からの 2 つのフラッシュ光を、測定対象物に向かう光から参照鏡に向けて分岐し、参照鏡で反射された光を、再び 2 つのフラッシュ光の光路に戻す半透明鏡と、測定対象物で反射された 2 つのフラッシュ光により得られる反射光と参照鏡で反射された反射光により生成される干渉光を画像として撮像するカメラと、前記移動テーブルを前記第 1 および第 2 のフラッシュ光源が発光する発光時間間隔 t_2 に合わせて、所定距離移動させるテーブル制御部と、前記移動テーブルの所定間隔毎の移動および前記第 1 および第 2 のフラッシュ光源からの所定時間間隔 t_2 での発光により得られる前記カメラからの前記第 1 および第 2 のフラッシュ光源の所定時間間隔 t_2 での発光毎、かつ前記移動テーブルの移動毎の発光時間間隔 t_2 に対応した複数の出力画像から

、振幅の変化が最大となる画像番号の画像を取りだし、参照鏡の共役像と測定対象物表面について前記第 1 および第 2 のフラッシュ光源からの 2 つの光により生成される 2 つの干渉像から光路差を求め、さらに測定対象物の面方向の複数の点で同様に前記カメラからの複数の出力画像を取り出して、それぞれの光路差を求め、測定対象物の面方向の複数の点における前記画像振幅の変化が最大となる各画像の取り込み時点での位相値に基づいて測定対象物の表面形状を特定する画像処理装置と、を有することを特徴とする形状測定装置である。

【 0 0 2 0 】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して、この発明の実施の形態を詳細に説明する。

【 0 0 2 1 】

図 1 に示すように、形状測定装置 1 は、試料すなわち測定対象物 O を保持する測定対象保持部 2、測定対象保持部 2 に向けて所定の波長の光を照射する送光系 3、測定対象保持部 2 で反射された反射光（干渉光）を受光して画像信号を得る受光系 4、送光系 3 と受光系 4 との間の所定の位置に設けられ、周知の干渉計として機能する干渉部 5、および受光系 4 により得られた画像信号を処理して測定対象の表面形状の計測結果を出力する画像処理部 6、からなる。

【 0 0 2 2 】

測定対象保持部 2 は、試料すなわち測定対象物 O を、互いに直交する 2 方向に移動可能な X-Y テーブル 2 1、X-Y テーブル 2 1 を X 軸方向および Y 軸方向のそれぞれの方向と直交する Z 軸（垂直）方向に移動可能な垂直移動機構 2 2、および垂直移動機構 2 2 の Z 軸方向の移動を一定速度に制御可能なテーブル制御部 2 3 からなる。なお、テーブル制御部 2 3 は、画像処理部 6 により制御可能に形成される。また、テーブル制御部 2 3 は、画像処理部 6 と一体に形成されてもよい。なお、X-Y テーブル 2 1 は、測定対象物 O の測定すべき位置を設定可能であれば、各方向（X 方向および Y 方向）への移動は、手動であってもよい。

【 0 0 2 3 】

送光系 3 は、図 2 を用いて以下に説明するように、所定時間間隔 t_1 でほぼ同時に白色光または所定の波長の光を放射する第 1 および第 2 のフラッシュランプ

3 1, 3 2、それぞれのフラッシュランプ 3 1, 3 2 から放射された光を平行光に変換する第 1 および第 2 のコリメートレンズ 3 3, 3 4、第 1 のコリメートレンズ 3 3 を通過して平行化された第 1 のフラッシュランプ 3 1 からの光のうちの第 1 の波長 λ_1 の光（成分）を通過させる第 1 のバンドパスフィルタ 3 5、第 2 のコリメートレンズ 3 4 を通過して平行化された第 2 のフラッシュランプ 3 2 からの光のうちの第 1 の波長 λ_1 と僅かに波長の異なる第 2 の波長 λ_2 の（成分）を通過させる第 2 のバンドパスフィルタ 3 6、それぞれのバンドパスフィルタ 3 5, 3 6 を通過された波長 λ_1 の光の光路および波長 λ_2 の光の光路を合成する第 1 の半透明鏡 3 7、第 1 の半透明鏡 3 7 で合成された 2 つの光を、測定対象物保持部 2 にセットされた測定対象物 O に向けて案内する第 2 の半透明鏡 3 8、および第 2 の半透明鏡 3 8 により測定対象物 O に向けられた 2 つの光を測定対象物 O 表面に集光させるためにそれぞれの光に所定の集束性を与える対物レンズ 3 9 を有している。なお、照射した光の波長は、それぞれ、 $\lambda_1 = 540 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 575 \text{ nm}$ である。また、2 つのフラッシュランプ 3 1, 3 2 は、例えばキセノン（Xe）ランプである。

【0024】

受光系 4 は、上述した送光系 3 の対物レンズ 3 9 により取り出された測定対象物 O からの反射された反射光（干渉光）に所定の結像特性を与えるリレーレンズ 4 1、およびリレーレンズ 4 1 により所定の結像特性が与えられた測定対象物 O からの干渉光（反射光）を撮像するカメラ 4 2 からなる。

【0025】

対物レンズ 3 9 に戻された測定対象物 O からの反射光は、上述の送光系 3 の第 2 の半透明鏡 3 8 により、送光系 3 の第 1 および第 2 のフラッシュランプ 3 1, 3 2 から測定対象物 O に向けられる波長 λ_1 , λ_2 の光と分離される。

【0026】

なお、カメラ 4 2 は、例えば最長でも 1 ミリ秒前後、例えば 200 ナノ秒～50 マイクロ秒程度、より好ましくは 10 マイクロ秒の僅かに時間差のある 2 つの画像を同時に撮像できる高速ダブル露光機能による撮像が可能であれば、特に制限を受けないが、例えば浜松ホトニクス株式会社製の高速画像計測カメラ（C7

3 0 0 - 1 0 - 1 2 N R P) が利用可能である。

【 0 0 2 7 】

干渉部 5 は、周知の干渉計を構成するもので、第 2 の半透明鏡 3 8 と測定対象物 O との間で第 2 の半透明鏡 3 8 から測定対象物 O に向かう光の一部を分離する第 3 の半透明鏡 5 1、および第 3 の半透明鏡 5 1 (または第 2 の半透明鏡 3 8) と測定対象物 O との間の距離に対して等しいか所定の位置関係を提供できる距離に位置された参照鏡 5 2 を含み、測定対象物 O で反射された波長 λ_1 、 λ_2 の光のそれぞれに、測定対象物 O の表面の形状の特徴を含む干渉を起こさせる。

【 0 0 2 8 】

画像処理部 6 は、例えばパーソナルコンピュータであって、カメラ 4 2 により撮像された測定対象物 O からの反射光すなわち干渉光に対応する映像信号を所定の規則に従って画像処理し、または解析もしくはパターン化する。なお、カメラ 4 2 が出力する画像信号がアナログ信号である場合には、図示しない A/D 変換装置や所定の画像処理ソフト等が用いられることもある。

【 0 0 2 9 】

なお、上述の構成では、送光系 3 からの 2 つの光を第 2 の半透明鏡 3 8 で折り返し、カメラ 4 2 に向かう測定対象物 O からの反射光 (干渉光) が第 2 の半透明鏡 3 8 を透過するように配置したが、測定対象物 O に向けて 2 つの光を照射可能で、測定対象物 O からの反射光と参照鏡 5 2 からの反射光との干渉光を受光可能であれば、各光学要素、2 つのフラッシュランプおよびカメラは、任意の位置に配置できる。

【 0 0 3 0 】

次に、図 1 に示した形状測定装置 1 を用いて測定対象物 (被測定物) O の表面形状を計測する手順の一例を説明する。

【 0 0 3 1 】

第 1 に、X-Y テーブル 2 1 に測定対象物 O を固定し、X-Y テーブル 2 1 と垂直移動機構 2 2 とを、それぞれ所定量移動させて、測定対象物 O の測定すべき位置 (範囲) と第 3 の半透明鏡 5 1 (または第 2 の半透明鏡 3 8) との間の距離が、参照鏡 5 2 と第 3 の半透明鏡 5 1 (第 2 の半透明鏡 3 8) との間の距離に、

概ね等しくなる（測定範囲の中心値に対して僅かにずれる）ように、測定対象物 O をセットする。

【0032】

次に、第1および第2のフラッシュランプ31, 32をほぼ同時（図2に示すように時間差 t_1 として、最長でも1ミリ秒前後、例えば200ナノ秒～50マイクロ秒程度、より好ましくは10マイクロ秒の僅かな時間差間隔 t_1 で発光させ、コリメートレンズ33, 34により平行光に変換した後、バンドパスフィルタ35, 36により、波長 λ_1 と λ_2 である2つの光を取りだし、第1の半透明鏡37により、2つの光の光路を合成する（2波長（ λ_1 と λ_2 ）の瞬間照明光を作る）。

【0033】

これら2つの光（ λ_1 , λ_2 ）は、第2の半透明鏡38で概ね90°折り返され、対物レンズ39により所定の集束性が与えられて、X-Yテーブル21に固定されている測定対象物Oに投射する。なお、第2の半透明鏡38で折り返られて測定対象物Oに向けられた2つの光の一部は、第3の半透明鏡51により、参照鏡52に向けて反射される。

【0034】

測定対象物Oを保持したX-Yテーブル21は、画像処理部6またはテーブル制御部23の制御により、第1および第2のフラッシュランプ31, 32のそれぞれの発光時間間隔 t_2 に同期するように、垂直移動機構22に、上昇または下降が指示されることで、（個々のフラッシュランプの発光時間間隔 t_2 に同期した）所定の速度で上下動される。

【0035】

測定対象物Oで反射された光は、カメラ42に向けて反射される。このとき、第3の半透明鏡51で、参照鏡52で反射されて戻された光と重なり合い、干渉光となる。

【0036】

干渉光すなわち測定対象物Oで反射された反射光と参照鏡52で反射された光は、それぞれ第2の半透明鏡38を通過し、リレーレンズ41で所定の集束性が

与えられて、干渉光の強度分布画像を時系列に従って波長別に記録可能な 2 次元カメラ 4 2 の図示しない受光面に結像される。

【 0 0 3 7 】

カメラ 4 2 の受光面に結像された干渉光は、カメラ 4 2 で光電変換され、画像処理部 6 に供給される。このとき、カメラ 4 2 からは、移動テーブル 2 1 の 2 つのフラッシュ光の進行方向に沿った所定時間間隔 t_2 の移動に応じて、複数の画像が出力される。なお、各画像は、波長 λ_1 の光による取り込み画像と波長 λ_2 の光による取り込み画像の 2 つの画像を含む。

【 0 0 3 8 】

なお、測定対象物 O からの反射光の光強度は、垂直移動機構 2 2 により、所定の速度で定速移動される X-Y テーブル 2 1 の移動に伴い、表面の形状の特徴を含んで変化する。従って、カメラ 4 2 により撮像した干渉光のパターンを解析することで、任意の高さにおける表面の形状を求めることができる。

【 0 0 3 9 】

また、上述した形状測定装置 1 では、2 つのフラッシュランプ 3 1, 3 2 から出射された白色光のうちの所定の波長、すなわち互いに近接した第 1 の波長 λ_1 の光と第 2 の波長 λ_2 の光とを用いることから、X-Y テーブル 2 1 を所定速度で移動させながらカメラ 4 2 で撮像する干渉光のパターンについては、測定対象物 O 上の任意の点について、図 4 を用いて後段に説明するように、光路差が同じであっても第 1 の波長 λ_1 の光と第 2 の波長 λ_2 の光とによる、異なって時間変化する干渉光の強度変化が観測できる。

【 0 0 4 0 】

図 3 は、図 1 に示した形状測定装置 1 において、カメラ 4 2 で撮像された測定対象物 O の異なる点では、光路差が A, B と異なることを説明する概略図である（なお、図 1 に示した形状測定装置では干渉計に反射型を用いているため、実際の光路差の 2 倍となって出力されるので、実際の光路差は、「A/2」と「B/2」となる）。

【 0 0 4 1 】

図 3 に示されるように、X-Y テーブル 2 1 が垂直移動機構 2 2 により定速度

で垂直移動されると、参照鏡 5 2 からの共役像は、点線で一定の位置に作られるが、これに対して、測定対象物 O の表面は、参照鏡の共役像の位置を下から上方向に移動して通過し、測定対象物 O の異なる点では、異なる時点で光路差 0 (ゼロ) が実現されていく。

【 0 0 4 2 】

図 4 は、図 3 に示した光路差と光強度の関係を説明するもので、有限な干渉長から決定される正弦波形強度変化の包絡線の形状を有している。

【 0 0 4 3 】

例えば、X-Y テーブル 2 1 が垂直移動機構 2 2 により移動される速度、すなわち垂直移動機構 2 2 の移動速度を、カメラ 4 2 が 1 セットの画面 (λ_1 と λ_2 の画像) を取り込む時間に位相を、 $2\pi \times n$ (n は、1 以上の整数であり、ここでは 2 とする) $+\alpha$ (α は、 $\pm\pi/2$ を中心として幅 $\pm\pi/4$ の範囲) として設定する。

【 0 0 4 4 】

一方、カメラ 4 2 が画像を取り込む際の取り込み画像切り替わりのタイミングに同期して 2 つのフラッシュランプ 3 1, 3 2 を、所定時間間隔 t_1 、例えば 10 マイクロ秒前後で発光させると、カメラ 4 2 に取り込まれる画像は、(1), (2), (3), (4), (5), \dots , の光路差の時点となり、刻々と変化する光強度の干渉光 (干渉パターン) を、2 つの波長 λ_1 , λ_2 の光のそれぞれに対して撮像することになる。なお、図 4 においては、点線の曲線が λ_1 による画像を示し、実線の曲線が λ_2 による画像を示している。また、 λ_1 , λ_2 のそれぞれは、時間差 t_1 を含むことから、カメラ 4 2 が 1 セットの画面を取り込む時間に変化されるべき位相として、 $2\pi \times n \pm \pi/2$ に対して、 $\pm\pi/4$ の幅を持たせている。

【 0 0 4 5 】

例えば、 j 番目の画像 (光強度) の光強度を I_j とし、位相シフト量を α とすると、カメラ 4 2 に取り込まれた信号から、各波長 λ_1 , λ_2 の光による j 番目の画像の取り込み時の (カメラで撮像された干渉パターンの) 位相値 ϕ_j と振幅 (半径に相当する) A_j は、それぞれ、

【0046】

【数1】

$$\phi_j = \arg[2i \sin \alpha (I_{j-1} - I_{j+1}) + (2I_j - I_{j+2} - I_{j-2})]$$

(i は、虚数項を示す)

【0047】

および

【数2】

$$A_j = \frac{1}{2} \sqrt{4 \sin^2 \alpha (I_{j-1} - I_{j+1})^2 + (2I_j - I_{j+2} - I_{j-2})^2}$$

により求めることができる。

【0048】

次に、 λ_1 により形成される画像（干渉パターン）において、振幅 A_j が最も大きくなる画像取り込み番号 k （番目の画像）を探し出し、対応する位相値 ϕ_j を取り出す。

【0049】

位相値 ϕ_j は、図5に示すように、 $-\pi$ から π までの値となる。なお、図5においては、点線の曲線が λ_1 による画像を示し、実線の曲線が λ_2 による画像を示している。

【0050】

図5に示される通り、位相値 ϕ_j は、波長 λ_1 と波長 λ_2 のそれぞれにおいて、光路差に比例して急傾斜で変化する。この図5から、 ϕ_j が特定の値を採っても、その ϕ_j を与える光路差に多くの候補が存在することがわかる。このため、光路差は、1つに決められない。波長 λ_1 による位相値と波長 λ_2 による位相値の差である位相差は、光路差に比較して、緩傾斜で変化する。ゆえに、位相差から光路差を1つに決めることができる。

【0051】

図6に示されるように、この位相差の光路差に対する変化は、緩傾斜であり、

得られた位相差に雑音が含まれる場合、緩傾斜であるゆえに光路差の精度は、よくない。しかし、この位相差と波長 λ_1 （または λ_2 ）における位相値との両方を用いると、画像 k （番目）を取り込んだ時点での光路差を、より正確に求めることができる。

【 0 0 5 2 】

一方、振幅 A_j については、実際には精度が低いため、光路差がゼロ付近であることが認められる程度で、図4の包絡線のピーク位置を正しく特定することは困難である。しかしながら、波長 λ_1 と波長 λ_2 のそれぞれにおける位相値の差が、結果として 2π ずれて、見かけ上で同じ位相差の値となる領域同士（図4～図6の領域Cと領域D）を識別することは、可能である。

【 0 0 5 3 】

これらから、画像取り込み周期に対するX-Yテーブル21の移動量、画像番号 k 、 k （番目の）画像の取り込み時の光路差から、画素毎の反射面位置が計算できるので、測定対象物Oの形状を求めることが可能となる。

【 0 0 5 4 】

換言すると、この発明では、カメラ42により記録された多くの枚数の画像から、記録順に各波長毎の連続する画像を抜き出し、その中の特定の画像番号（例えば j 枚目）の画像記録時の各波長での位相値と干渉信号の正弦波型変化の振幅を、位相シフト法を用いて計算し、カメラ42により撮像される測定対象物の総ての画素毎に、正弦波型変化振幅が大きい（光路差がゼロ近傍となっている）画像番号 k を探し出し、その画像の各波長での位相値を取り出すことを特徴としている。

【 0 0 5 5 】

このとき、2つの波長による位相値の違い（位相値）は、図6に示したように光路差にほぼ比例するので、位相値の違いから大体の光路差を求めた後、求めた値と λ_1 または λ_2 の位相値からより正確な光路差を計算し、その画素での画像番号 k と k 番目の画像の取り込み時の正確な光路差を得ることができる。

【 0 0 5 6 】

〔例1〕

以下に、図 1 に示した形状測定装置により、ある研磨面の形状を測定した結果を示す。なお、位相シフト量は、 $4\pi - \pi/2$ とした。

【0057】

図 7 は、ある画素の干渉光（画像）を、カメラ 42 で取り込んで得られた画像番号と光強度の変化を、それぞれのフラッシュランプからの光毎に示すもので、点線の曲線 a は波長 λ_1 の光（反射光）の光強度を、実線の曲線 b は波長 λ_2 の光（反射光）の光強度を示している。なお、信号変化から得られた振幅 A_j の変化を一点鎖線の曲線 c として合わせて示す。

【0058】

次に、図 7 から、振幅の変化が最大振幅となる画像番号 k（番目）を得る。

【0059】

続いて、図 8 に示すように、振幅の変化が最大振幅となる k 番目の画像の前後のデータから計算される位相値の変化量（シフト量 α ；波長 λ_1 の光が点線の曲線 a で、波長 λ_2 の光が実線の曲線 b で示されている）および波長 λ_1 の光および波長 λ_2 の光のそれぞれにおける位相値の差 ϕ_{12} を求める。なお、図 8 における横軸は、画像番号を示し、図 7 から求められた画像番号 k（番目）の画像を、「2」で示している。従って、横軸の「1」は、画像番号 $k-1$ を、「3」は、画像番号 $k+1$ をそれぞれ示している。

【0060】

図 8 から、波長 λ_1 の位相シフト量 α （点線の曲線 a）は、概ね $\pi/2$ （一定）で、波長 λ_2 の位相シフト量 α （実線の曲線 b）は、 $3\pi/4 \sim \pi/2$ の範囲内にあることが認められる。

【0061】

また、図 8 から、位相値の差 ϕ_{12} は、画像番号と共に大きく変化していることから、光路差の変化も大きいことが認められる。

【0062】

以下、図 9 ないし図 11 に、カメラ 42 により撮像した測定対象物 O の反射光（干渉光）を画像処理する途中の工程、および画像処理の結果得られた測定対象物 O の形状を示す。

【 0 0 6 3 】

図 9 は、カメラ 4 2 が取り込んだ画像中の各画素において、最大振幅を呈する画像番号 k の分布を示している。図 1 0 は、 k （番目の画像が）取り込まれた時点における光路差の分布を示している（計算値）。

【 0 0 6 4 】

図 1 1 は、 $X-Y$ テーブル 2 1 の画像取り込み毎の移動量と、図 9 に示した k の分布、および図 1 0 に示した光路差に基づいて計算される形状を示している。なお、図 1 1 において、まばら（散発的）に見える突起は、画像信号中に含まれる雑音の影響であり、光源すなわちフラッシュランプが放射する光の光量（バンドパスフィルタを透過する所定波長の光のエネルギー）を上げることで、概ね除去できる。

【 0 0 6 5 】

図 1 1 に示されるように、カメラにより撮像された画像の画素毎に計算された k の値（図 9）および光路長（図 1 0）から得られたデータを単純に横につなげて 3 次元表示した結果が滑らかであることで、この発明の形状測定方法では、測定対象物 O の表面に段差があった場合でも、正しく測定可能なことが認められる。

【 0 0 6 6 】

比較のため、（位相値に関する考察のない）周知の位相シフト法のみで求めた測定対象物 O の形状を図 1 2 に示す。図 1 2 では、個々の画素に関して、最大振幅を求めることは考慮されていない。

【 0 0 6 7 】

その結果、測定対象面 O の表面が実際には滑らかでも、位相値は、飛び飛びの部分を含み、横方向に、滑らかとならないことが認められる。この飛び飛びは、通常、測定面がなめらかであることを仮定して横方向での位相差のこの 2π の飛びをなくす処理を経て、最終形状となる。このため、段差形状は測定できない。

【 0 0 6 8 】

以上説明したように、この発明の光干渉を利用した形状測定では、干渉光路の一方の長さをステップ式に変えて干渉信号の位相をシフトさせる位相シフト法を

用いて、測定対象物からの反射光と参照鏡からの反射光が作る干渉像の位相値を計算し、この位相値から光路差を求めて、測定対象物の表面形状を求める方法において、位相シフト量を、現在実用化されている $\pi/2$ または $\pi/3$ ステップに比較して $2\pi \times n$ (n は、1 以上の整数) $\pm \pi/2$ 前後を中心として幅 $\pm \pi/4$ と、数倍～数十倍に設定できる。

【0069】

しかも、位相変化の時間間隔で、ほぼ同時に（時間差がほとんどない状態で）発光する2個のフラッシュ光源を用い、 λ_1 と λ_2 からなる瞬間照明光を作り、2次元カメラを用いて、位相シフト時の各波長での干渉光強度画像を、時系列に従って、波長別に記録し、記録された多くの画像から、記録順に各波長毎の連続する画像を抜き出し、その中の特定の画像番号（例えば j 枚目）の画像記録時の各波長に対する位相値と干渉信号の正弦波型変化の振幅（図4）を位相シフト法を用いて計算し、2次元カメラが撮像する測定対象域の総ての画素毎に、正弦波型変化振幅が大きい（光路差がゼロ近傍となっている）画像番号 k を探し出し、その画像の各波長での位相値を取り出し、位相値の違い（位相差）から大体の（大まかな）光路差を求めた後、求めた値と λ_1 または λ_2 の位相値からより正確な光路差を計算し、その画素での画像番号 k と k 画像取り込み時の正確な光路差を得ることで、 π 以上の位相シフト量で取り込まれる複数枚の干渉画像から、高い測定精度で測定対象物の表面形状を測定することができる。

【0070】

すなわち、移動テーブルを位相シフト量毎に移動し、画素毎に計算される振幅の大きい画像番号 k を求め、 k 番目の画像取り込み時の光路差から測定対象物の形状を求める作業を、測定対象物の面方向の所定の領域（範囲）でくり返すことで、測定対象物の表面の凹凸を、正確に測定することができる。

【0071】

【発明の効果】

以上説明したように、この発明の形状測定装置は、微細な凹凸を含む測定対象物の表面形状を、細かい分解能を維持しながら、これまでの数倍～数十倍の速度で、測定できる。なお、周知の位相シフト法では、達成できていない広い測定範

図が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

この発明の実施の形態である形状測定装置の構成の一例を説明する概略図。

【図 2】

図 1 に示した形状測定装置の 2 つの光源から出射される 2 つの波長 λ_1 , λ_2 の光相互の間隔 t_1 と、その 2 つの波長 λ_1 , λ_2 の光の組の発光間隔 t_2 を説明する概略図。

【図 3】

図 1 に示した形状測定装置において、X-Y テーブルを上下移動させて測定対象物を動かした際、光路差が測定個所によって異なる時点で 0 (ゼロ) になることを説明する概略図。

【図 4】

X-Y テーブルが上下移動される際の光路差に対する干渉光の強度の変化とカメラに取り込まれるタイミングを示す概略図。

【図 5】

図 4 に示した各光路差での各波長の位相値を示す概略図。

【図 6】

各図 4 に示した各光路差での波長の位相値の差 (位相差) を説明する概略図。

【図 7】

ある画素での画像番号 j の光強度とその時の振幅信号 (振幅変化は λ_1 と λ_2 で計算された振幅を加算したもの) を示す概略図。

【図 8】

k 番目の取り込み画像の前後での各波長の位相の変化量 α と位相差を示す概略図 (曲線 (点線) $a: \lambda_1$ での α/π , 曲線 (実線) $b: \lambda_2$ での α/π , ϕ_1
 $2: (\lambda_1$ での位相値 $- \lambda_2$ での位相値) $/ \pi$)。

【図 9】

画素毎に計算された最大振幅の画像番号 k を説明する概略図。

【図 10】

k 番目の画像の取り込み時点の光路差を示す概略図（画素毎に k が異なるためなめらかな面を測定した場合でも光路差が不連続になる）。

【図 1 1】

図 9 に示した画像番号 k および図 1 0 に示した光路差、並びに X-Y テーブルの移動量から計算された最終的な 3 次元形状を説明する概略図（横方向のデータ比較を全く行っていないので、段差があっても正しく測定できることを示す）。

【図 1 2】

周知の位相シフト法のみで同様に求めた表面形状を説明する概略図。

【符号の説明】

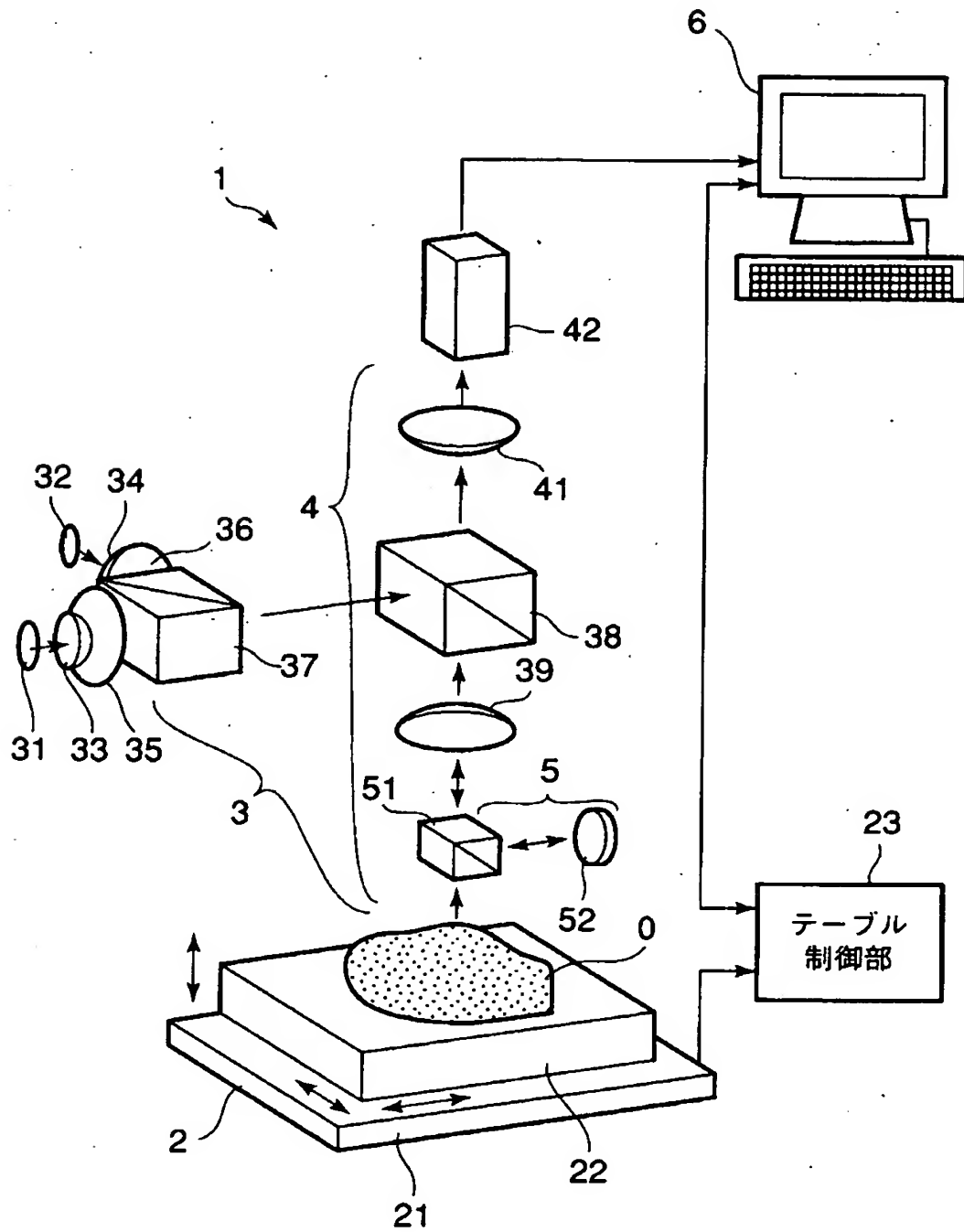
- 1 . . . 形状測定装置、
- 2 . . . 測定対象保持部、
- 3 . . . 送光系、
- 4 . . . 受光系、
- 5 . . . 干渉部、
- 6 . . . 画像処理部、
- 2 1 . . . X-Y テーブル、
- 2 2 . . . 垂直移動機構、
- 2 3 . . . テーブル制御部、
- 3 1 . . . フラッシュランプ、
- 3 2 . . . フラッシュランプ、
- 3 3 . . . コリメートレンズ、
- 3 4 . . . コリメートレンズ、
- 3 5 . . . バンドパスフィルタ、
- 3 6 . . . バンドパスフィルタ、
- 3 7 . . . 半透明鏡、
- 3 8 . . . 半透明鏡、
- 3 9 . . . 対物レンズ、
- 4 1 . . . リレーレンズ、
- 4 2 . . . カメラ、

- 5 1 . . . 半透明鏡、
- 5 2 . . . 参照鏡、
- . . . 測定対象物。

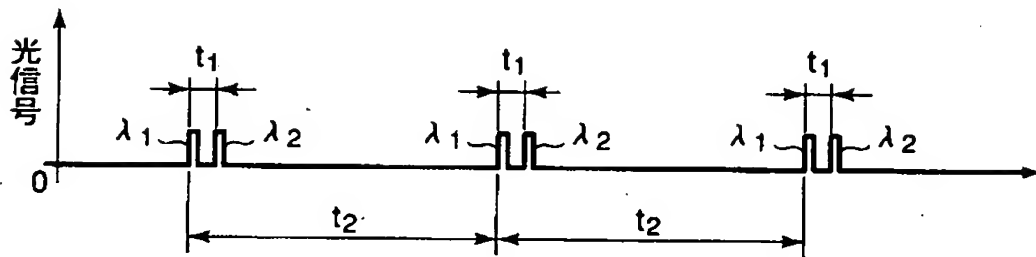
【書類名】

図面

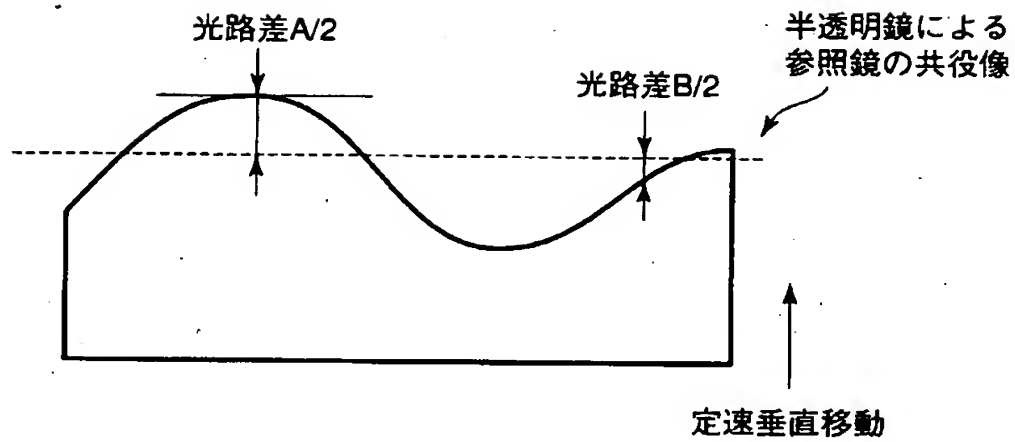
【図1】



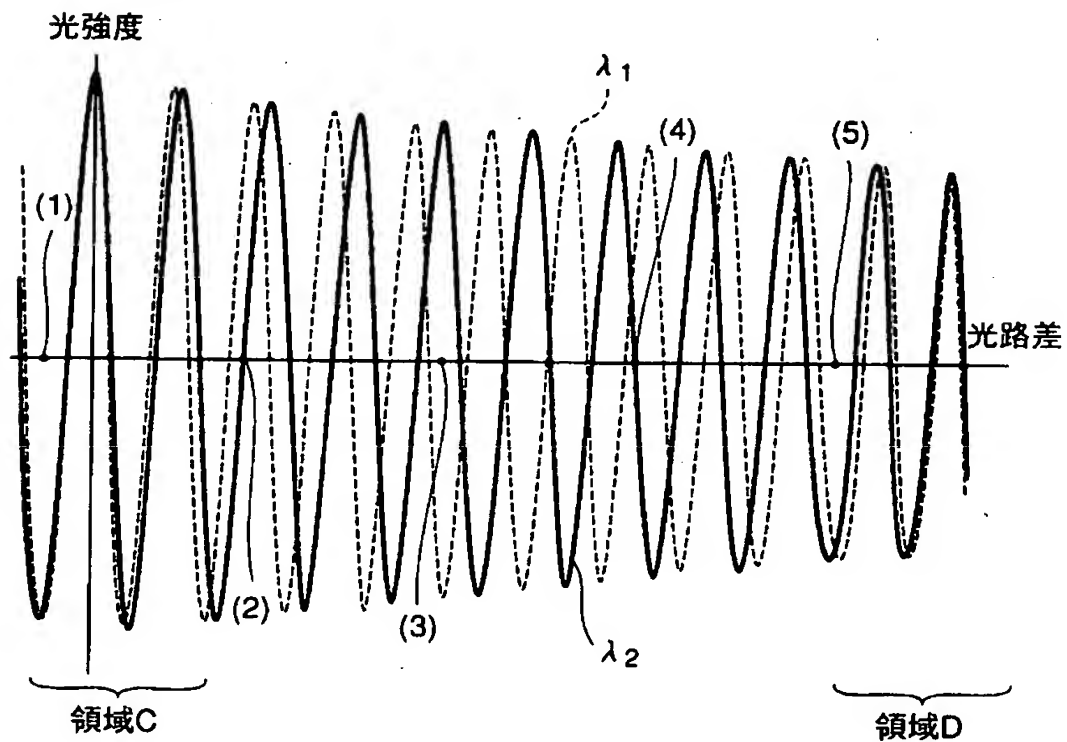
【図 2】



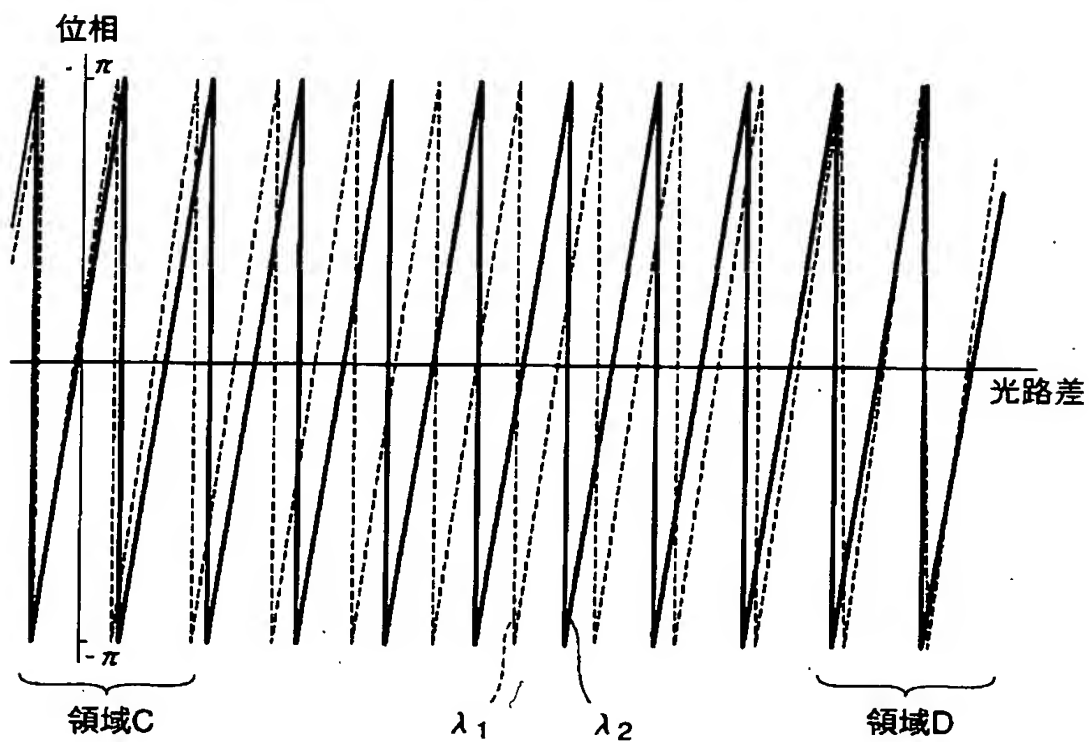
【図3】



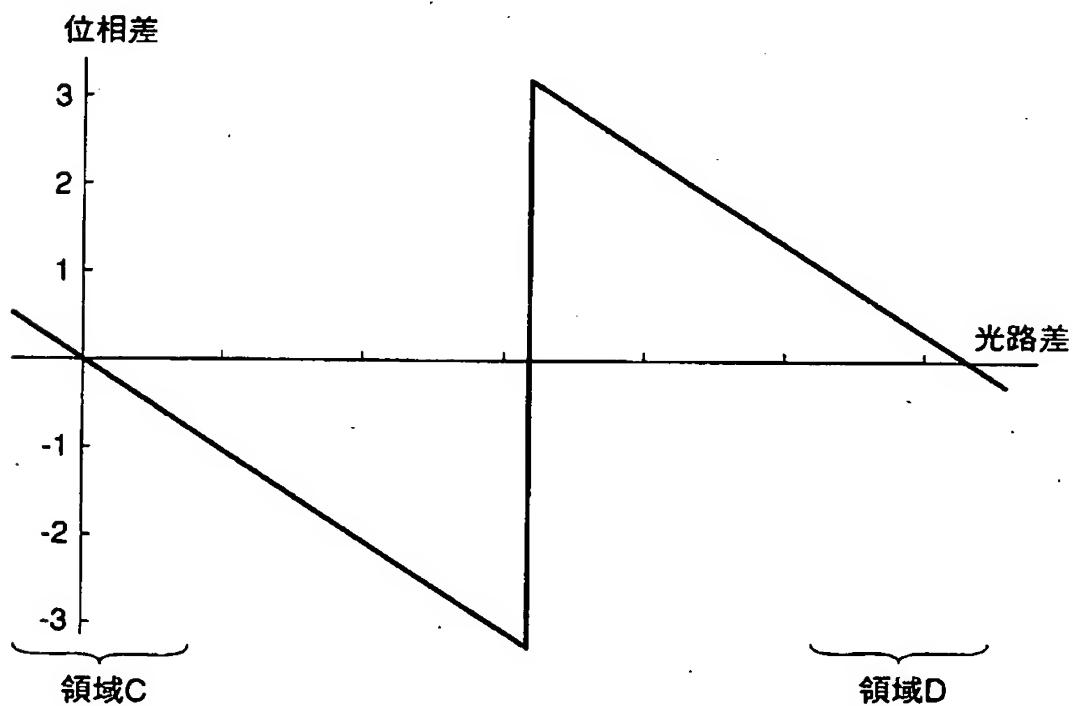
【図4】



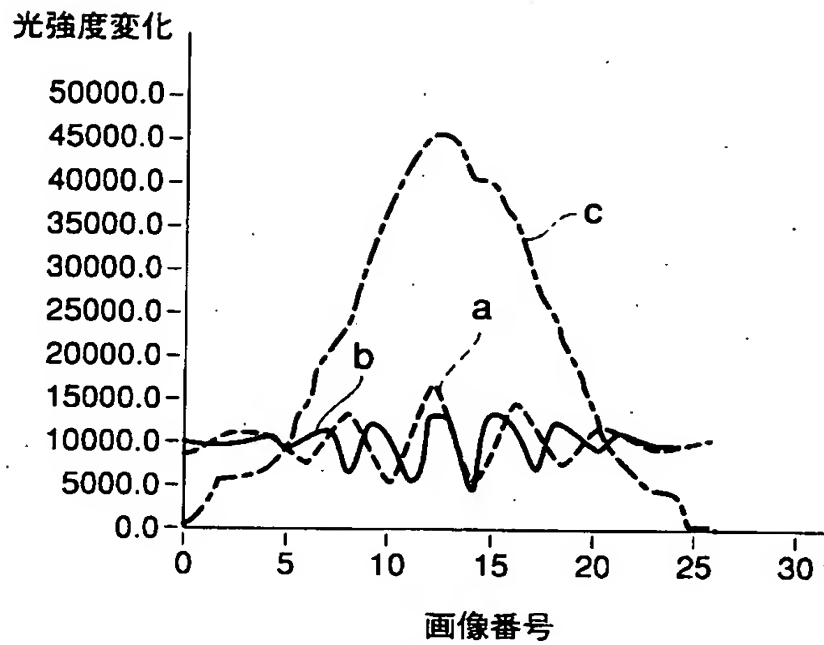
【図5】



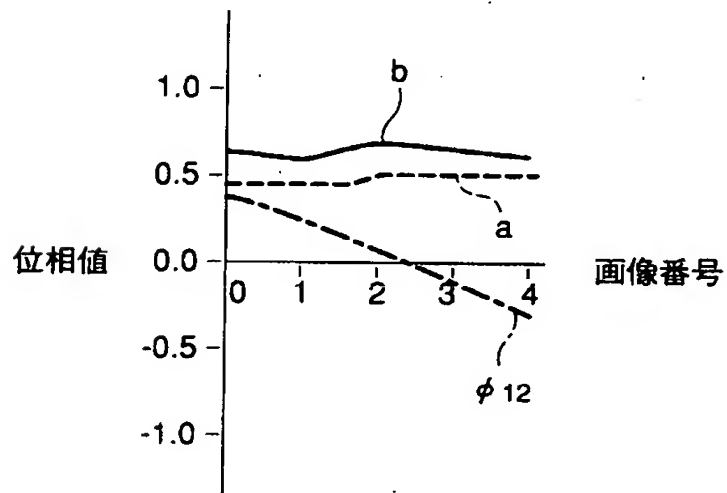
【図6】



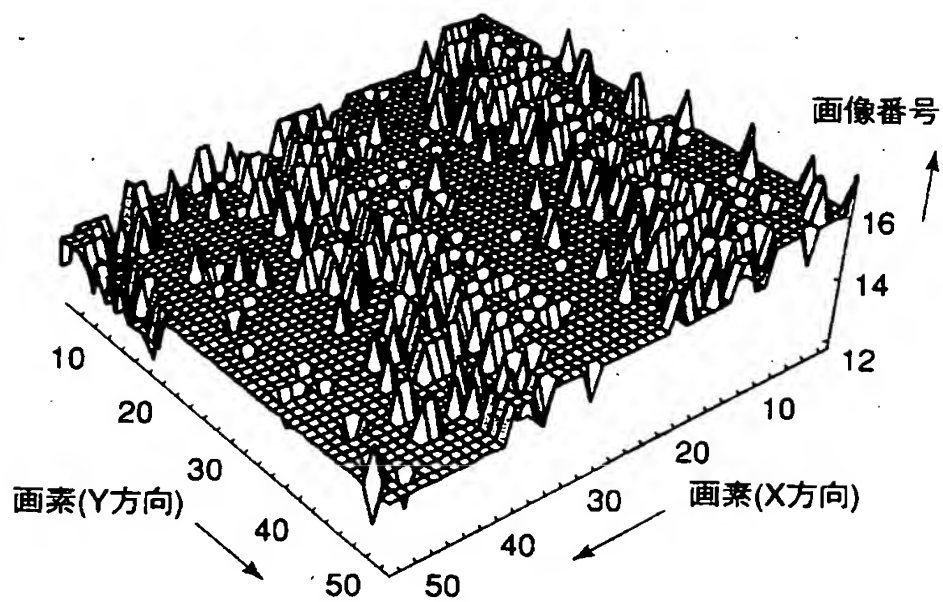
【图 7】



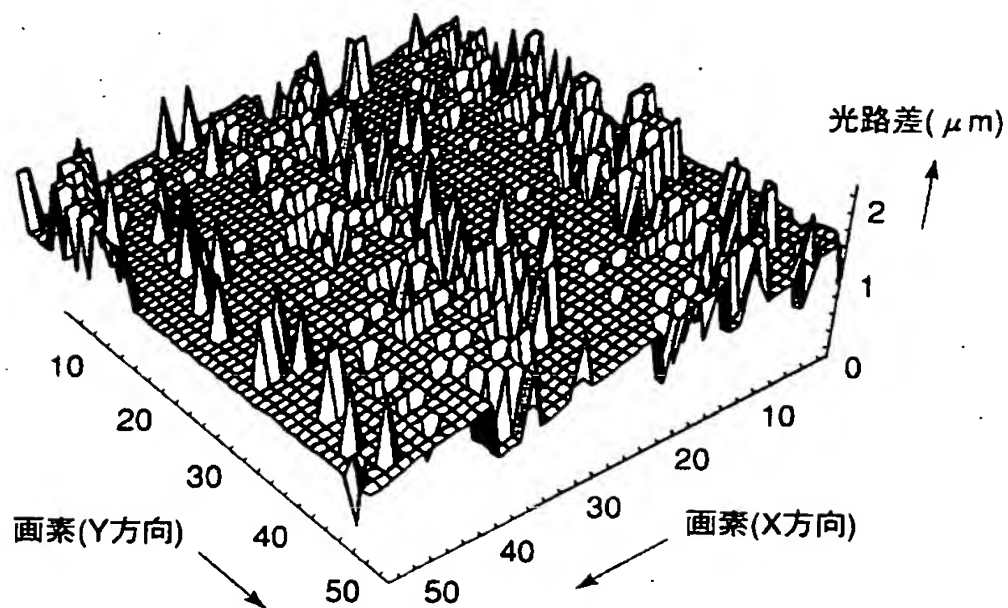
【图 8】



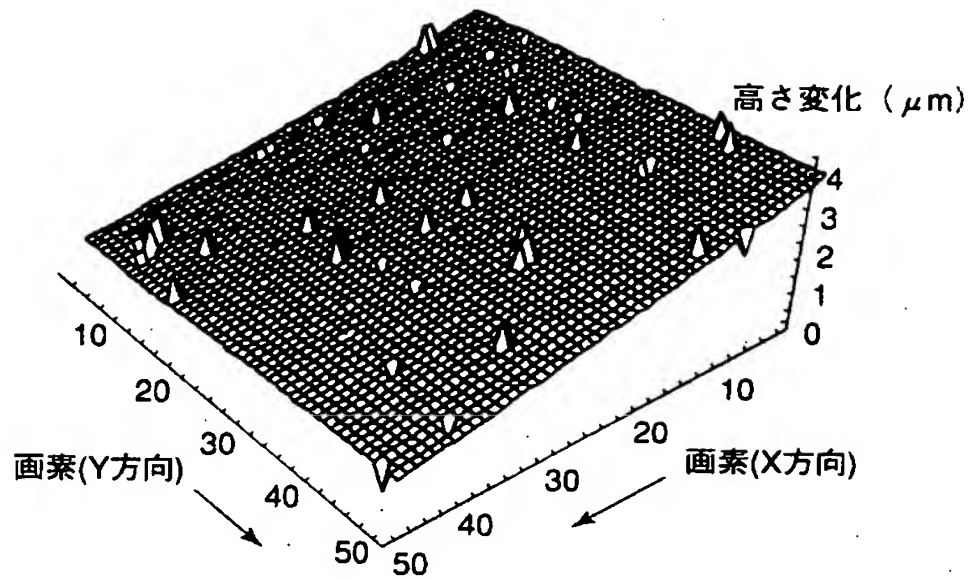
【図9】



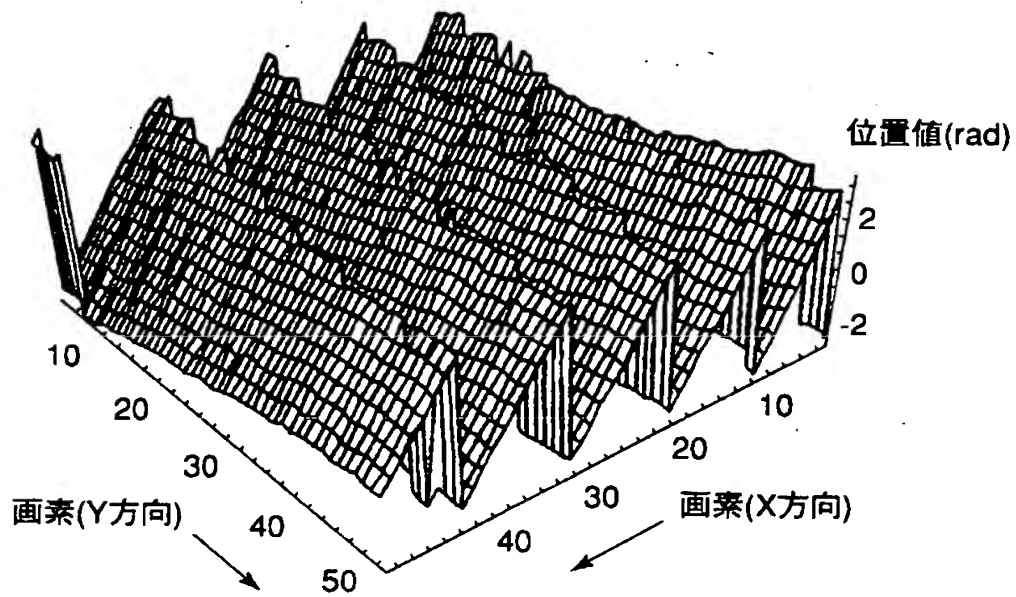
【図10】



【図 1 1】



【図 1 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 測定対象の表面の凹凸形状を、高い精度で、高速、かつ非接触で測定可能な形状測定装置を提供する。

【解決手段】 この発明の形状測定装置 1 は、僅かに波長の異なる 2 つのフラッシュ光を、所定時間間隔 t_1 で測定対象物 O に照射し、その 2 つの光からの反射光と参照鏡 5 2 からの反射光とにより生成される干渉光をカメラ 4 2 で撮像する際に、2 つのフラッシュ光が照射される間隔 t_2 毎に測定対象物が 2 つのフラッシュ光が進行する方向に沿って移動させる位相シフト量を、 $2n\pi$ (n は、1 以上の整数) $\pm \pi/2$ を中心とした幅 $\pm \pi/4$ 前後としたことを特徴とする。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [591006335]

1. 変更年月日 1995年 3月 2日
[変更理由] 住所変更
住 所 石川県金沢市角間町(番地なし)
氏 名 金沢大学長